

Expediting model for supplier purchase orders

Ivan Gustavo, Quintanilla Araujo, Master; ¹, Eleodoro Fidel, Robles Bautista, Doctor; ² María Rosa, Mamani Sánchez, Bachelor ³

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c19627@utp.edu.pe, c20451@utp.edu.pe, u19300526@utp.edu.pe

Abstract– The research evaluates the behavior of an expediting model that is currently being implemented in the mining supply chain (SCM) in Peru, with the objective of validating that the proposed methodology and expediting model allow for an increase in on-time and in-full (OTIF) deliveries from suppliers. The expediting model is structured in 6 stages, from the planning of order tracking to the achievement of OTIF. The study has a quantitative approach, is applied in type, and follows a pre-experimental, correlational, and explanatory design. The population coincides with the sample, which includes 24 months (2023–2024) of historical data from expediting categories. The technique used was documentary review, using a structured guide as an instrument to collect, analyze, and process reliable data from the model. The multiple linear regression method was used, exploring cause-effect relationships between the predictor variables and the response variable, using the SPSS statistical software. The result shows a significant relationship between the predictor variables and OTIF, with an adjusted R^2 coefficient of 0.96, indicating that the model explains 96% of the variability of OTIF. In addition, the ANOVA analysis and the individual significance tests of the coefficients confirm that all predictor variables have a statistically significant impact on OTIF ($p < 0.05$). Likewise, the model does not present autocorrelation in the residuals (Durbin-Watson = 2.414) and shows a very low standard error of the estimate (0.02909), ensuring accuracy in the precision of the model.

Keywords: Expediting, lead times, expediting software, control backlog, OTIF.

Modelo de aceleración de pedidos adquiridos a proveedores

Ivan Gustavo, Quintanilla Araujo, Maestro ¹; Eleodoro Fidel, Robles Bautista, Doctor; ² María Rosa, Mamani Sánchez, Licenciada ³

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c19627@utp.edu.pe, c20451@utp.edu.pe, u19300526@utp.edu.pe

Resumen– La investigación evalúa el comportamiento de un modelo de aceleración (*expediting*) que está en ejecución en la cadena de suministro minera (SCM) en el Perú, con el objetivo de validar que la metodología y el modelo de aceleración propuesto permita incrementar las entregas a tiempo y completas (OTIF) de los proveedores. El modelo de aceleración se estructura en 6 etapas desde la planificación del seguimiento de pedidos hasta la obtención del OTIF. El estudio es de enfoque cuantitativo, tipo aplicada, diseño preexperimental, correlacional y explicativo. La población coincide con la muestra que incluye datos históricos de 24 meses (2023-2024) de categorías de aceleración. La técnica empleada fue la revisión documental, utilizando como instrumento una guía estructurada para recopilar, analizar y procesar datos confiables del modelo. Se utilizó el método de regresión lineal múltiple, explorando relaciones de causa-efecto entre las variables predictoras y la variable respuesta, empleando el programa estadístico SPSS. El resultado muestra una relación significativa entre las variables predictoras y el OTIF, con un coeficiente de determinación R^2 ajustado de 0.96, lo que indica que el modelo explica el 96% de la variabilidad del OTIF. Además, el análisis ANOVA y las pruebas individuales de significancia de los coeficientes confirman que todas las variables predictoras tienen un impacto estadísticamente significativo sobre el OTIF ($p < 0.05$). Así mismo, el modelo no presenta una autocorrelación en los residuos (Durbin-Watson = 2.414) y muestra un error estándar de estimación muy bajo (0.02909), garantizando la precisión del modelo.

Palabras clave: Aceleración, tiempo de suministro, software de aceleración, control de atrasos, OTIF.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de bienes y servicios a nivel global ha inducido a las empresas a revisar y ajustar los métodos de producción y adquisición de bienes. En este contexto, la gestión de los procesos dentro de las cadenas de suministro de las organizaciones se ha vuelto progresivamente más compleja, especialmente debido a la tendencia de tercerizar la producción y de importar materias primas para reducir costos [1]. Esta tendencia ha generado una serie de retos, particularmente en lo que respecta a la coordinación entre proveedores y clientes. Asimismo, los retrasos en las entregas pactadas pueden derivar en penalizaciones no anticipadas y en relaciones comerciales disfuncionales y se han convertido en

un obstáculo recurrente en la gestión de las cadenas de suministro [1].

Con el objetivo de mitigar los inconvenientes derivados de la tercerización, las empresas han implementado diversas estrategias, incluyendo la adopción de modelos matemáticos basados en tácticas y enfoques de optimización integrados que ayudan a reducir la variabilidad de la demanda; de modo que, permiten estabilizar la gestión de la producción, lograr plazos óptimos de entrega y mantener buenas relaciones con los clientes, aunque pueden generar sobrecostos. [2], [3], [4]. Sin embargo, con el paso del tiempo, se ha observado que estos modelos, aunque efectivos en teoría, no siempre resultan aplicables a todos los sectores empresariales, lo que ha llevado a la necesidad de desarrollar nuevos enfoques para agilizar los pedidos en la cadena de suministro.

En este contexto, la flexibilidad, el seguimiento y el monitoreo estructurado en las operaciones dentro de la cadena de suministro, constituyen una estrategia clave para mitigar los riesgos asociados con los retrasos de pedidos pendientes y costos adicionales, siendo esta una estrategia más eficiente que las soluciones que requieren una optimización rígida de los procesos. Los autores concluyen que la implementación de operaciones flexibles en la cadena de suministro no solo mejora significativamente la eficiencia operativa sin generar sobrecostos, sino que también ofrece información clave para el desarrollo de modelos más avanzados destinados a acelerar las operaciones [5], [6].

De lo anteriormente expuesto, existen acciones y decisiones de aceleración al interior de modelos matemáticos propuestos para sistemas de inventarios, además de políticas de aceleración como en la Teoría de Análisis Jerárquico de Procesos Difusos (combinación del AHP más Fuzzy Logic), que pueden reducir en gran proporción la incertidumbre y subjetividad de las fechas de cumplimiento de los pedidos previamente pactados en una negociación [7], [8]. En el mismo sentido, estudios de modelos matemáticos previos basado en la Política-M y Política-E, explican que estas acciones de aceleración constan de soluciones ágiles, medidas de desempeño, flexibilidad de abastecimiento y toma de

decisiones rápidas basadas en la información existente, ya que cuando se presenta una casuística de pedidos aleatorios, la aceleración de la información contribuye a que esos pedidos sean entregados a tiempo; es así como se reducen los costos y se mejora la atención del servicio [9], [1].

Mientras, la investigación futura en la gestión de la cadena de suministro debería centrarse en sistemas con distribuciones generales de tiempo de procesamiento y eficiencia. En particular, los métodos de optimización de pedidos pendientes serán claves en situaciones donde los tiempos de procesamiento no siguen una distribución exponencial. Explorar estos enfoques podría brindar una base sólida para mejorar continuamente la gestión de las cadenas de suministro, ayudando a las empresas a enfrentar las complejidades operativas de manera más eficiente [10].

Por lo tanto, para estabilizar la gestión de la producción y garantizar plazos de entrega más precisos, se han promovido nuevas metodologías que permitan superar las limitaciones de los modelos previos, como el expediting, que ha emergido como un nuevo enfoque para asegurar el cumplimiento de los plazos de entrega.

Desde la perspectiva de la literatura científica, el expediting es abordado como la aceleración de pedidos

acompañado de un conjunto de modelos matemáticos que incluyen políticas, acciones y soluciones ágiles, medidas de desempeño, flexibilidad en el abastecimiento y toma de decisiones rápidas basadas en la información disponible [7],[8],[9]. En situaciones de pedidos aleatorios, la aceleración de la información juega un papel crucial en asegurar que estos pedidos se cumplan a tiempo, lo que, a su vez, contribuye a reducir costos y mejorar la calidad del servicio [1],[9].

El expediting, indicado en el glosario de términos del concilio de profesionales de cadena de suministro (CSCMP) se refiere al movimiento de pedidos a un ritmo acelerado y a la toma de acciones extraordinarias frente a un aumento inesperado de la demanda [11], en consecuencia considerando el termino expediting como un subproceso de compras también requiere coordinación con las áreas de ingeniería, calidad, control de proyectos; se puede apreciar en la Fig. 1, el alcance funcional del expediting dentro del proceso de abastecimiento integral de las empresas [12]. En otra perspectiva el termino expediting también es utilizado en la gestión de megaproyectos de construcción considerando los calendarios de fabricación de grandes equipos en largos periodos de tiempo de abastecimiento, además se consideran 3 tipos de expediting como se muestra en la Fig.2, el expediting de escritorio, expediting de campo e inspección residente y el expediting contratado a terceros [12].

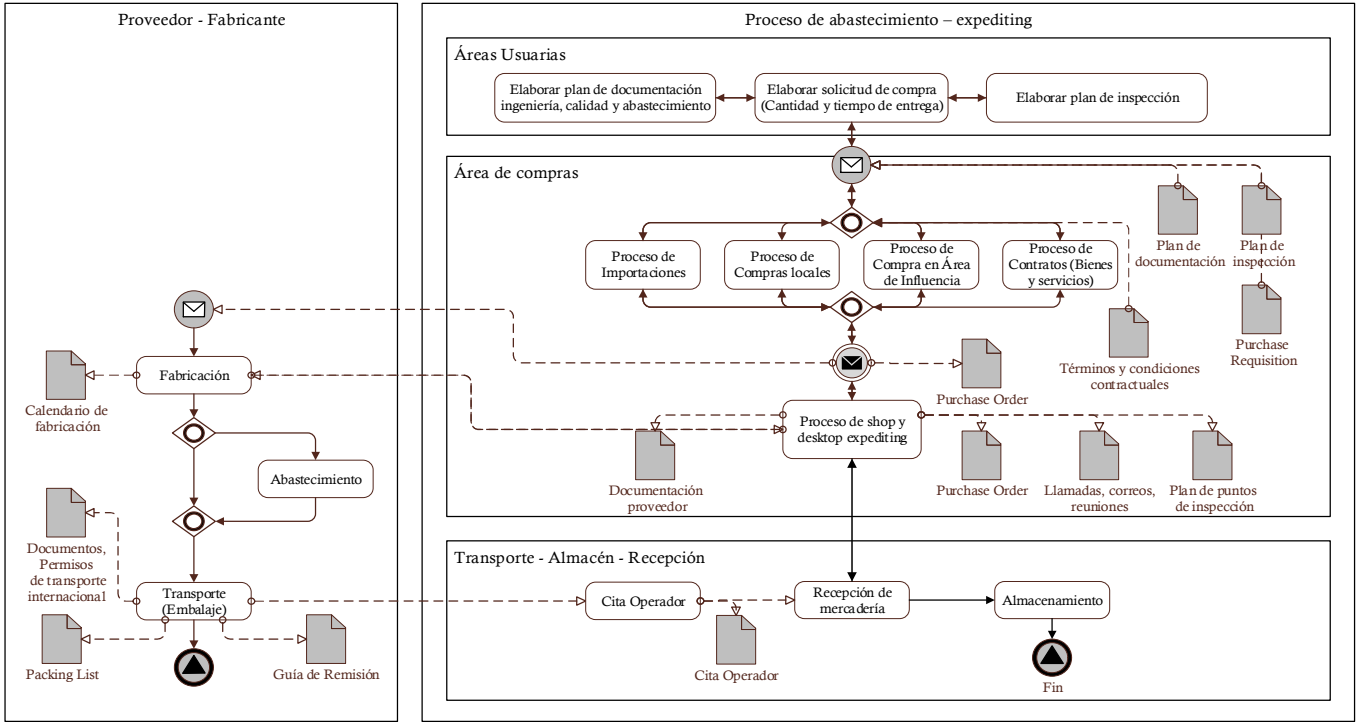


Fig. 1 Proceso de Abastecimiento Empresarial.

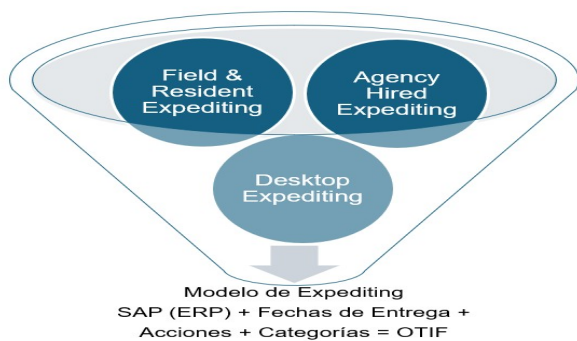


Fig. 2 Tipos de Expediting según Necesidad.

En este sentido el escenario de operaciones del expediting es la cadena de suministro MRO (mantenimiento, reparación y operaciones) en la cual se desempeña el modelo de expediting, como se muestra en la Fig. 3, y que corresponde al abastecimiento de inventarios de mantenimiento, reparación y todos los suministros que requiere una operación industrial para el correcto funcionamiento de la gestión empresarial. [13]

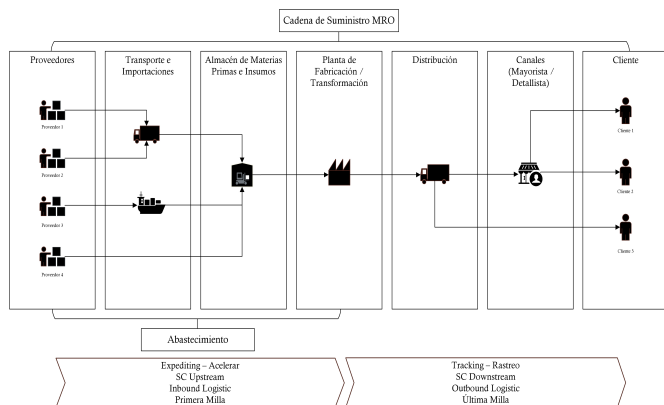


Fig. 3 Cadena de Suministro para Mantenimiento Reparación y Operaciones (MRO).

La cadena de suministro presentada y modelada para el segmento aguas arriba (upstream) carece de marcos de modelado y ha sido poco estandarizada para los sectores empresariales, muestra la logística de entrada, en el eslabón aguas arriba que es también conocido como la primera milla de la cadena que gestiona los proveedores con la finalidad de obtener los pedidos a través de los procesos de contratos, compras de bienes (OC) y servicios (OS), existe menos bibliografía y artículos que concentren su atención a esta etapa inicial de la cadena [14]. En aspectos de producción nacional el crecimiento económico fue de 4.47% en el 2024 debido al incremento de todos los sectores económicos como la manufactura, construcción, minería e hidrocarburos, telecomunicaciones, pesca [15]. Estos sectores están integrados por industrias con cadenas de suministros MRO las

mismas que demandan compras incrementales de suministros, equipos, componentes para sus operaciones y proyectos.

Por esta razón, el modelo de expediting en ejecución ha sido desarrollado, implementado y probado en 4 empresas de gran minería en el Perú siendo el problema identificado el incumplimiento de las fechas de entregas por parte de los proveedores, finalmente se propone evaluar el modelo y metodología de expediting, dado que se considera que la aceleración planificada frecuente y permanente con el empleo de categorías, acciones de aceleración y el indicador OTIF optimizará los tiempos de entrega y como consecuencia incrementará el nivel de servicio en la cadena de suministro para beneficiar a las empresas, proveedores y clientes.

II. METODOLOGIA

El expediting es entendido por la empresa (cliente) como el seguimiento de las compras de bienes y servicios, observando la Fig. 4, se puede apreciar cómo el seguimiento ha sido complementado y potenciado por el modelo de expediting, el mismo que viene siendo realizado desde el año 2021 y procesa un promedio mensual de 8,000 líneas o ítems en continuo movimiento, compuesto por repuestos de mantenimiento, suministros, equipos, sistemas, componentes y servicios que requieren la empresa desde la necesidad hasta la entrega y recepción del almacén central, ubicado en la ciudad de Lima.

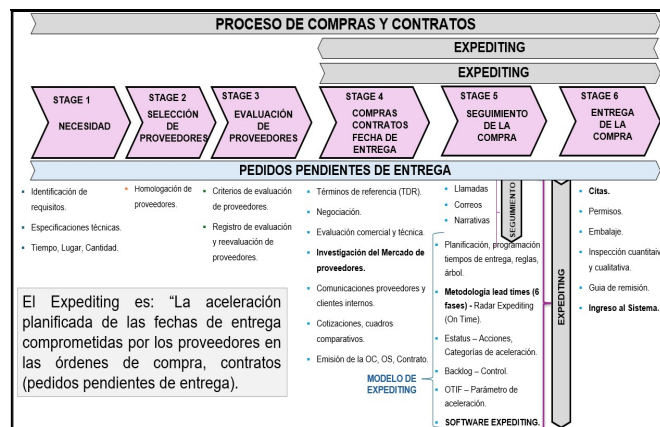


Fig. 4 Proceso de Seguimiento vs Proceso de Expediting

El modelo de expediting de la Fig. 5 utiliza información diaria de las compras que es obtenida desde el sistema SAP R3 del cliente e involucra mantener datos estadísticos del trabajo de seguimiento y mostrar reportes de cumplimiento basado en el esfuerzo de un equipo de activadores (personal que realiza la función de expediting), quienes realizan diariamente llamadas, envían correos y participan en reuniones cuya información se registra en una planilla diaria de expediting

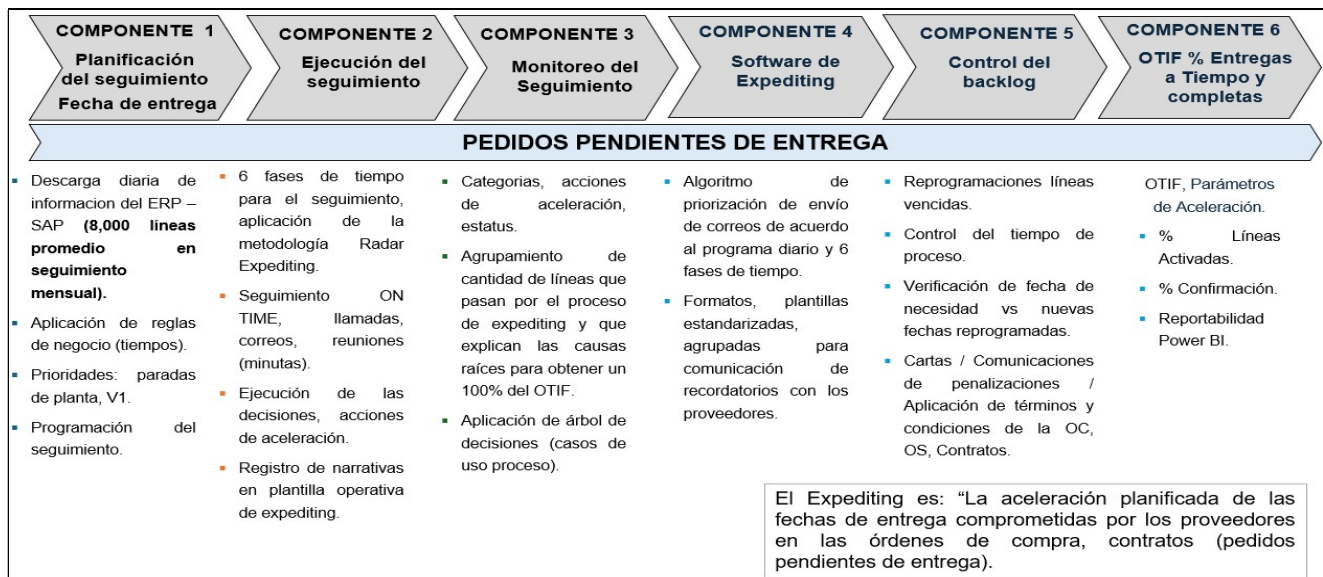


Fig. 5 Modelo de Expediting

que se actualiza en tiempo real en dashboards trabajados en Power BI, se emplea en el indicador OTIF (entregas a tiempo y completas), no hubo una meta de desempeño definida para el inicio del servicio, pero se han logrado alcanzar niveles progresivos de mejora del indicador hasta alcanzar un OTIF de 82%.

El Modelo de Expediting propuesto está compuesto por 6 etapas, como se observa en la Fig. 5, las mismas que han sido probadas en el transcurso de 4 años de operación, se considera para las pruebas del modelo datos recogidos de 2 años, 24 meses de operación continua sin interrupciones en el abastecimiento.

Se desarrollan las 6 etapas del Modelo de Expediting:

1) Planificación, del seguimiento: Se disponen de los recursos como las transacciones del sistema SAP con los datos de cada línea, proveedor, fecha de entrega a nivel de ítem de la OC, OS, Contratos; el equipo de trabajo realiza el esfuerzo inicial de integrar y priorizar los materiales de paradas de planta y críticos, se aplican las reglas de negocio que son acuerdos de tiempos de espera dentro de los procesos de abastecimiento y tiempos de respuesta de áreas usuarias, de esta forma se programa el expediting diariamente.

2) Ejecución del seguimiento (ON TIME): Se ejecuta el seguimiento de cada línea que compone el programa que está secuenciado y ordenado por la correspondiente fecha de entrega, se separa del backlog (control de las líneas vencidas)

de las líneas a tiempo (ON TIME) de acuerdo a la metodología del modelo que se ha denominado Radar Expediting, como se muestra en la Fig. 6, todas las líneas se visualizan en el radar y se considera la fecha de entrega como la fecha cero de llegada, cada segmento del radar muestra el agrupamiento del diferencial de tiempo en que se ubica un grupo de líneas pudiendo estar a 7, 15, 30, 45, 60, 90 días con respecto a la fecha cero.

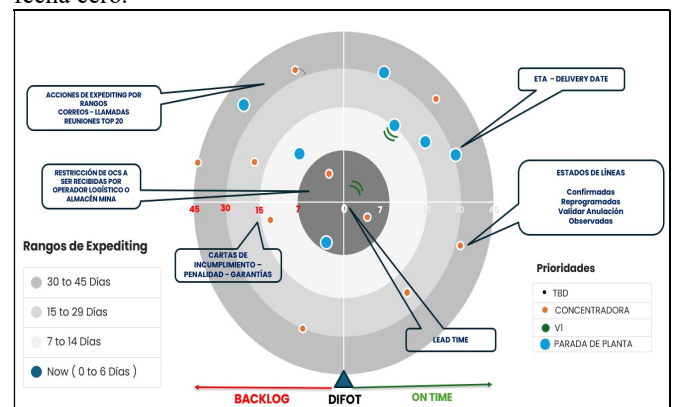


Fig. 6 Metodología Radar Expediting.

Como se muestra en la Fig.7, se aplica el seguimiento en 6 fases de tiempo, por cada fase se ejecutan en forma estructurada un determinado número de llamadas, correos, reuniones de ser necesarias y se registran las respuestas (narrativas) en una plantilla diaria, el programa define y

orienta el seguimiento. Es importante señalar que existe una retroalimentación desde la etapa final del proceso para obtener el indicador OTIF de cada proveedor y se mantiene un registro TOP-10,20 que es un criterio del sistema de trabajo que

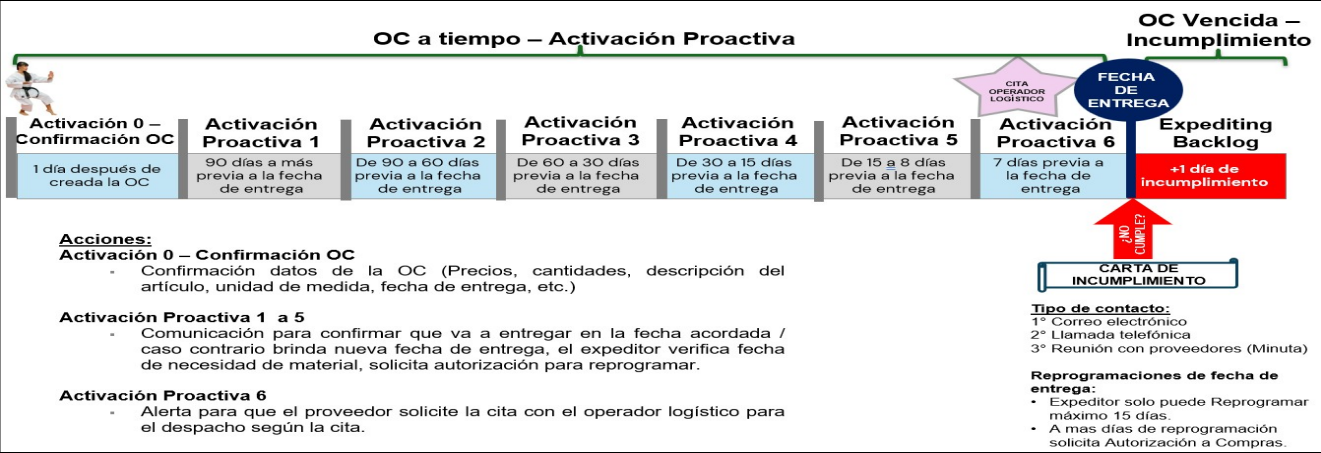


Fig. 7 Metodología 6 Fases de Tiempo

permite decidir ejecutar reuniones o intensificar el seguimiento.

3) Monitoreo del Seguimiento: Como resultado de la ejecución en esta etapa se cuentan con las planillas de seguimiento con narrativas detalladas por cada línea, y producto de la experiencia en el servicio y por la continua interacción con la supervisión del Cliente se han consensado 9 categorías de aceleración, presentados en la Tabla I, agrupamiento que se encuentran asociado a responsables al interno de la organización del cliente y que sirven como oportunidades de mejora para agilizar el proceso.

TABLA I
CATEGORÍAS (9) Y ACCIONES DE EXPEDITING (18).

Acciones de aceleración Actuales (OTIF) - PARÁMETROS		Categorización – Medición
1	Enviar correos según metodología (rangos de activación)	Fecha confirmada ↑
2	Llamar al proveedor con respuesta confirmatoria por correo	
3	Reunirse con proveedores críticos, prioritarios	
4	Comunicar al comprador y solicitar actualización de contacto comercial.	Pendiente confirmación proveedor
5	Identificar a la Gerencia del Proveedor para comunicarle la demora en la respuesta.	
6	Informar al comprador a través del cuadro de control las compras observadas para que coordine solución con los usuarios, catalogación, inventario, planeamiento, supply o contratos.	Compras observadas (fuera Expediting)
7	Enviar por correo al comprador solicitando la revisión de la observación.	
8	Revisar las líneas nuevas que ingresan diariamente al plan de expediting	Pendiente de activación
9	Revisar las líneas re abiertas o añadidas que re ingresan diariamente al plan de expediting	
10	Revisar el reporte de stock semanal de planeamiento e inventarios.	Consignación
11	Consultar una transacción de SAP MB52 y enviar correo consulta solicitando ampliación o cierre.	
12	Enviar correo de activación nivel 1 a 5 para validar la fecha de entrega original.	Proveedor brinda estatus de línea - no fecha.
13	Comunicar a las gerencias del proveedor en reuniones y reiterar la necesidad de validar la fecha de entrega.	
14	Solicitar al proveedor la guía de remisión de entrega firmada y sellada.	Entrega no procesada
15	Enviar correo a área usuario, compras, almacén, tráfico para solicitar el ingreso al sistema SAP	
16	Revisar en SAP el levantamiento de la observación.	PO modificada en proceso de activación
17	Enviar correo de activación al proveedor solicitando confirmar la atención de la línea.	
18	Revisar en el ME23N que la línea ha sido devuelta (proceso de devolución)	Discrepancia

4) Software de expediting: Con respecto a la metodología desarrollada, las fases de tiempo secuenciadas, los datos que se obtienen del SAP de la programación y las planillas diarias conteniendo narrativas, se observó que los esfuerzos de recordar a los proveedores eran insuficientes respecto al número de activadores que realizaban el servicio, por ello se

desarrolló un software como se observa en la Fig. 8, que se alimenta con la información diariamente procesada, contiene la metodología y predefine los correos electrónicos como recordatorios a los proveedores que se encuentran con pedidos en proceso y próximos a cumplir con la fecha de entrega.

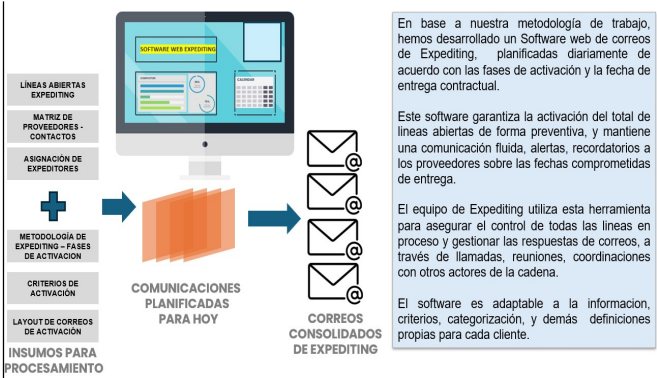


Fig. 8 Software de Correos para Expediting.

5) Control del Backlog: Representa el conjunto de líneas, ítems cuya fecha de entrega fue incumplida y que de acuerdo con el modelo ingresan a un proceso de aceleración intensiva pasando por acciones de reprogramación de fecha de entrega por parte de los proveedores, este control permite identificar nuevos casos de uso que establecen nuevas causas raíces y retroalimenta todo el modelo, incluyendo la posible creación de nuevas reglas de negocio o se puedan implementar nuevas acciones o categorías de aceleración.

6) Parámetro OTIF: Es el indicador de performance que se maneja dentro de la cadena de abastecimiento y es aceptado ampliamente por la industria, permite conocer el desempeño de los proveedores respecto a las entregas realizadas a los

clientes, estableciendo un porcentaje de numero de pedidos atendidos a tiempo y completos por parte de cada proveedor. [16]

Considerando el desempeño del modelo de expediting presentado, se propone en la presente investigación, evaluar el comportamiento del modelo de expediting, siendo este un modelo de aceleración que se está aplicando en el proceso logístico de la cadena de suministro (SCM) del sector empresarial minero en el Perú.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La data recopilada y mostrada en la Fig. 9, corresponde al resultado de 24 meses de líneas aceleradas y su correspondiente resultado mensual general del % de OTIF alcanzado, la data se encuentra agrupada en categorías de aceleración para el periodo 2023 al 2024.

Hipótesis General

H₀: Las variables predictoras no explican significativamente la variabilidad porcentual del OTIF.

H₁: Las variables predictoras explican significativamente la variabilidad porcentual del OTIF.

Variables predictoras:

- Fechas confirmadas (X₁).

- Líneas activadas (X₂).
- Entregas no procesadas (X₃)
- Pendientes de activación (X₄).
- Líneas observadas (X₅).

A. Enfoque, tipo, alcance y diseño de investigación.

La investigación es de enfoque cuantitativo, de acuerdo con [17], ya que busca analizar datos numéricos provenientes de parámetros y sub-parámetros del proceso de expediting utilizado en la SCM y los proyectos en el proceso de seguimiento, control y coordinación de actividades para garantizar, reducir el riesgo y asegurar que los pedidos de materiales, equipos o servicios se entreguen a tiempo y cumplan con las especificaciones requeridas.

De acuerdo con [17] el presente estudio es de tipo aplicada, ya que los conocimientos son aplicables y brindan solución a problemas en las empresas. Tiene un diseño pre-experimental correlacional y explicativo, porque busca identificar y analizar las relaciones de causa-efecto entre los factores o variables explicativas con la variable respuesta aplicando la técnica estadística de regresión lineal múltiple, modelo que permite conocer el grado de dispersión de los valores de la variable respuesta en función de las variables explicativas.

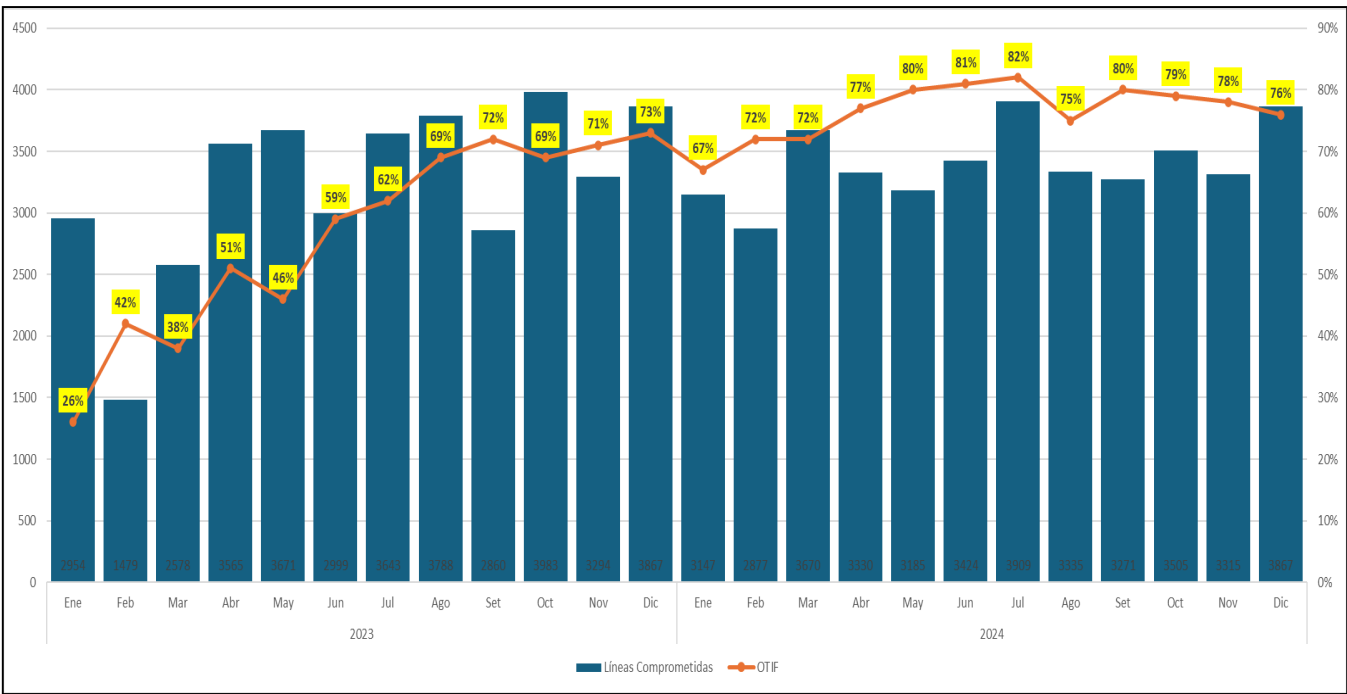


Fig. 9 Evolución del % OTIF 2023 – 2024 (24 meses).

B. Población y Muestra

La población está conformada por el total de objetos, datos, casos observados o elementos de características homogéneas que se pretende investigar [17], [18]. El estudio consiste en analizar datos históricos de 24 meses de la actividad de expediting. En este caso, la muestra coincide con la población, abarcando observaciones del periodo 2023-2024.

C. Técnicas, Instrumentos y Herramientas

La técnica que se utilizó fue la revisión documentaria, recopilando datos confiables y fidedignos del sistema expediting vigente [17], [18]. El instrumento aplicado fue la guía de revisión documentaria, debidamente ordenados todos los datos disponibles para analizar, procesar e interpretar de acuerdo con nuestros objetivos y su posterior discusión, como lo mencionan [19], [20]. De acuerdo con [4] Para la presente investigación se utilizó el modelo matemático de regresión lineal múltiple:

Modelo

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k + \varepsilon$$

Descripción de los elementos del modelo

1. Y: Variable dependiente (la que se quiere predecir o explicar).
2. β_0 : Intercepto, el valor de Y cuando todas las X_i son iguales a cero.
3. $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$: Coeficientes de regresión que representan el cambio esperado en Y por cada unidad de cambio en la respectiva X_i , manteniendo las demás variables constantes.
4. $X_1, X_2, \dots, X_k$: Variables independientes o predictoras (factores que influyen en Y).
5. ε : Término de error (residuo) que capta la variabilidad en Y que no puede ser explicada por las variables independientes.

Los datos recolectados se analizaron mediante un proceso de análisis tendencial y de regresión lineal múltiple utilizando el software SPSS.

El análisis del estadístico descriptivo se procesó con el software SPSS y se presenta en la Tabla II.

TABLA II
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DEL MODELO DE EXPEDITING

Variables	Media	Desviación Estándar	N
On Time In Full	0,6638	0,14578	24
Entregas no Procesadas	5,5000	8,18270	24
Fecha Confirmadas	1819,5417	679,37689	24
Observados	35,6250	19,09658	24
Pendientes de Activación	188,5833	141,21581	24
Líneas Activadas	0,8967	0,07944	24

La media del On Time In Full (OTIF) indica que, en promedio, el 66.38% de las entregas se realizaron a tiempo, con una desviación estándar baja, lo que indica que los valores están cercanos a la media, explicando cierta consistencia en el cumplimiento de los plazos. Con relación a las variables predictoras, las variables muestran diferentes niveles de variabilidad. Algunas (como "Líneas Activadas") presentan una variabilidad relativamente baja, mientras que otras (como "Entregas no Procesadas" y "Pendientes de Activación") muestran una mayor dispersión.

Análisis del resumen del modelo presentado en la Tabla III.

TABLA III
RESUMEN DEL MODELO

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
5	0,984 ^a	0,969	0,960	0,02909	2,414

f. Variable dependiente: On Time in Full

En la tabla III se observa que el valor de R (0.984) indica una relación muy fuerte y positiva entre las variables predictoras y la variable respuesta, lo que significa que a medida que aumentan los valores de las variables predictoras, también tiende a aumentar el valor de "On Time In Full". De igual manera, el R^2 ajustado es de 0.960, lo que indica que el modelo explica aproximadamente el 96% de la varianza de la variable respuesta "On Time In Full" (OTIF). Este valor muy alto indica que el modelo se ajusta de forma importante a los datos. Por otro lado, el Durbin-Watson cuyo valor de (2.414) explica que no hay evidencia de autocorrelación en los residuos, evidenciando la importancia porque la autocorrelación puede violar los supuestos del modelo de regresión lineal y finalmente, el error estándar de la estimación es muy bajo (0.02909), indica que las predicciones del modelo están cerca de los valores observados.

El análisis del ANOVA se muestra en la Tabla IV.

TABLA IV
ANOVA DEL MODELO DE EXPEDITING

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,474	5	0,095	111,887	0,000
Residuo	0,015	18	0,001		
Total	0,489	23			

Predictores: (Constante), Fecha Confirmadas, Entregas no Procesadas, Líneas Activadas, Pendientes de Activación, Observados.

En la tabla se observa que El valor de p valor asociado al F es extremadamente bajo (0.0001), que nos permite rechazar la hipótesis nula y concluir que al menos uno de los predictores (Fecha Confirmadas, Entregas no Procesadas, Líneas Activadas, Pendientes de Activación, Observadas) tiene un efecto significativo sobre la variable respuesta OTIF. Por tanto, el modelo el ANOVA es estadísticamente significativo.

Por otro lado, el análisis de los coeficientes se muestra en la Tabla V.

TABLA V
COEFICIENTES DE REGRESION DEL MODELO

Modelo	Coeficientes no estandarizados				Estadísticas de colinealidad	
	B	Desv. Error	t	Sig.	Tolerancia	VIF
Fecha Confirmadas	0,000	0,000	10,984	0,000	1,000	1,000
(Constante)	-0,449	0,167	-2,693	0,015		
Fecha Confirmadas	8,196E-5	0,000	4,921	0,000	0,287	3,479
Entrega no Procesadas	-0,004	0,001	-4,100	0,001	0,514	1,945
Líneas Activadas	1,080	0,194	5,553	0,000	0,154	6,481
Pend. de Activación	0,000	0,000	3,390	0,003	0,282	3,549
Observados	-0,001	0,000	-2,463	0,024	0,712	1,405

a. Variable dependiente: On Time in Full

La tabla muestra los coeficientes de regresión del modelo estadístico. Coeficientes que indican la relación entre las variables predictoras y la variable explicada, "On Time In Full" (OTIF). El coeficiente β indica la fuerza y dirección en la relación entre variables. Por otro lado, con un nivel de significancia cuyo valor de p es menor a 0.05 nos permite rechazar la H_0 por lo que se concluye que el coeficiente es estadísticamente significativo.

Finalmente, se presenta el modelo matemático como resultado del análisis realizado, presentado en la Fig. 10.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \epsilon$$

$$\text{OTIF} = -0.473 - 0.04X_1 + 8.192 \times 10^{-52}X_2 - 0.001X_3 - 0.0008X_4 + 1.080X_5$$

Fig. 10 Modelo Matemático OTIF

23rd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering, Artificial Intelligence, and Sustainable Technologies in service of society". Hybrid Event, Mexico City, July 16 - 18, 2025

DONDE:

X1: Entregas no procesadas

X2: Fechas confirmadas

X3: Observados.

X4: Pendiente de Activación

X5: Líneas activadas.

De igual importancia y considerando los resultados obtenidos de la literatura científica, el expediting en la cadena de suministro es abordado por la comunidad científica como modelos matemáticos, al interior de estos modelos se han identificado acciones de aceleración, políticas de aceleración, decisiones de aceleración y se encuentran características comunes que respaldan el modelo propuesto [5], [6], [9], [10], en aspectos de construcción del modelo, en el estudio de un modelo de gestión de proveedores se evidencian coincidencias en el establecimiento de criterios de selección y evaluación de proveedores, de esta forma se elimina la incertidumbre y subjetividad de las decisiones, en base a la construcción de un esquema de árbol compuesto por niveles de jerarquía, componentes, criterios y sub criterios en este sentido el modelo de expediting propuesto recoge categorías que agrupan acciones, niveles de aceleración, árbol de decisiones, en línea con lo propuesto en el modelo para la análisis jerárquico de procesos difusos (AHP), [17].

En el mismo sentido el estudio de un modelo de inventario de revisión periódica en aspectos de aceleración y decisión sobre la utilización de medios de transporte, decisión de mover el inventario con traslados aguas abajo y distancias de inventario con respecto al cliente, el modelo propuesto presenta coincidencias en las decisiones sobre medios, inventarios que son manejados como consignaciones próximas al consumidor, [7].

En aspectos de mayor coincidencia el modelo de sistema de inventario con múltiples frentes y opciones de agilización con el empleo de la teoría de colas, cuyo propósito es que la aceleración evite la congestión o los cuellos de botella, presenta mayores coincidencias con el modelo de expediting propuesto en el empleo de políticas inteligentes con información en tiempo real, modelado de sistemas como redes y subredes de producción, transporte, decisiones informadas y de aceleración, otro aspecto interesante ha sido la mención al empleo de tecnologías avanzadas que permiten contar con información en tiempo real y la torre de control como un modelo de decisión que evalúa acciones rápidas en respuesta a diferentes escenarios [10].

Finalmente en todos los modelos de expediting estudiados en la literatura existente, el factor común es la gestión del inventario en función a los tiempos de suministros, donde se

involucran decisiones de acelerar los inventarios en costo y tiempo, pero lo interesante es el alcance del expediting abordado desde etapas tempranas, desde la planificación del inventario y a través de toda la cadena de suministro, de esta forma su carácter es transversal de extremo a extremo y en ese sentido el modelo de expediting propuesto recoge ese enfoque más allá que en la actualidad el expediting sea un termino subordinado y limitado a las compras, debería subordinarse al abastecimiento.

IV. CONCLUSIONES

Al rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_1), se determina que las variables evaluadas en el modelo constituyen elementos cruciales en el cumplimiento de los tiempos de entrega. El análisis de regresión lineal múltiple demuestra una correspondencia notable con los datos analizados, logrando explicar el 96% de las fluctuaciones en el indicador de entregas puntuales y completas (OTIF). Los resultados del ANOVA y las pruebas "t" evidencian que los factores predictivos —fechas confirmadas, líneas activadas, entregas pendientes de procesamiento, casos observados y elementos pendientes de activación— ejercen una influencia estadísticamente relevante en el desempeño del OTIF.

Este descubrimiento ofrece importantes beneficios prácticos para los departamentos de logística y adquisiciones. El modelo facilita la implementación de sistemas predictivos y operativos que mejoran la administración de entregas en organizaciones con redes de abastecimiento complejas, particularmente aquellas que gestionan repuestos, suministros esenciales o materiales MRO. Mediante la identificación y seguimiento de los factores fundamentales que influyen directamente en el cumplimiento de las entregas, las empresas pueden prever demoras, implementar medidas preventivas y establecer prioridades en el seguimiento a proveedores.

El modelo de expediting sugerido puede utilizarse como instrumento administrativo en sectores industriales, mineros, energéticos y de manufactura debido a su elevada fiabilidad y exactitud. En estos entornos, contar con los materiales necesarios en el momento adecuado es crucial para mantener las operaciones sin interrupciones. Este modelo tiene además la ventaja de poder incorporarse a sistemas ERP o plataformas de administración de proveedores, lo que permitiría automatizar los análisis y crear sistemas de alertas anticipadas.

En términos prácticos, al aplicar el modelo de expediting se consigue:

- Incrementar la probabilidad de recibir los materiales en las fechas acordadas con el proveedor.
- Identificar preventivamente los posibles incumplimientos de las fechas de entrega acordadas con el proveedor,

coordinando las acciones con el cliente para evitar la materialización del incumplimiento.

- Priorizar el expediting de las órdenes de compra más importantes, críticas y de mayor impacto a la operación utilizando análisis cuantitativos.
- Fomentar una cultura de cumplimiento con los proveedores, haciendo visibles periódicamente las métricas de rendimiento relacionadas con el OTIF.
- Fundamentar las decisiones de expediting en información concreta y trazable evitando utilizar fuentes no fidedignas o subjetivas.
- Promover el análisis de los tiempos de entrega (lead times de suministro) desde procesos previos al expediting, que involucre la planificación de la necesidad de los materiales, equipos y repuestos.
- Implementar y actualizar flujos de trabajo y reglas de negocio de expediting que, a su vez, podría personalizarse a materiales o proveedores críticos y de mayor impacto en la cadena de valor.

Además, este modelo mejora la relación con los proveedores al establecer una comunicación basada en parámetros medibles, lo que refuerza la confianza entre ambas partes y promueve la cooperación para optimizar los plazos de entrega.

Como recomendación final, es importante mantener un seguimiento estadístico permanente del modelo, experimentar con nuevas estrategias de aceleración y comprobar su efectividad en diferentes contextos empresariales, con el objetivo de perfeccionarlo como una herramienta sólida para la mejora continua en la cadena de suministro.

En consecuencia, la metodología y el modelo de expediting pueden implementarse con alta confiabilidad para mejorar el porcentaje de entregas puntuales y completas. Estos descubrimientos proporcionan fundamentos consistentes para desarrollar e introducir estrategias de mejora centradas en los factores que más impactan el OTIF. Aunque el modelo demuestra solidez, existe la posibilidad de probar nuevas acciones de aceleración dentro del mismo y se aconseja mantener un monitoreo estadístico constante para verificar su vigencia.

El modelo de expediting presentado puede ser implementado en empresas de diversos sectores que cuenten con una cadena de abastecimiento MRO, donde se requiera optimizar el eslabón aguas arriba de la cadena de suministro, mejorando el nivel de servicio de las áreas de abastecimiento, el modelo también fortalece el relacionamiento, confianza, contribuyendo de esta forma a la mejora en la gestión de proveedores y la obtención de inventarios acelerados que cumplan con los tiempos de entrega acordados.

REFERENCIAS

- [1] C. Kim, D. Klabjan, and D. Simchi-Levi, "Optimal Expediting Policies for a Serial Inventory System with Stochastic Lead Time," *Production and Operations Management*, vol. 24, no. 10, pp. 1524–1536, Mar. 2015, doi: <https://doi.org/10.1111/poms.12344>.
- [2] S. M. Zahraei and C.-C. Teo, "Optimizing a supply network with production smoothing, freight expediting and safety stocks: An analysis of tactical trade-offs," *European Journal of Operational Research*, vol. 262, no. 1, pp. 75–88, Oct. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.02.045>.
- [3] E. L. Plambeck and A. R. Ward, "Note: A Separation Principle for a of Assemble-to-Order Systems with Expediting," *Operations Research*, 55, no. 3, pp. 603–609, Jun. 2007, doi: <https://doi.org/10.1287/opre.1060>.
- [4] A. José, J. Rosas, and J. Cruz, "Modelo de asignación de comp proveedores considerando su flexibilidad y probabilidad de incumplimien la entrega," vol. 28, no. 122, pp. 29–48, Apr. 2012, [https://doi.org/10.1016/s0123-5923\(12\)70192-4](https://doi.org/10.1016/s0123-5923(12)70192-4).
- [5] L. Qi and K. Lee, "Supply chain risk mitigations with expe shipping," *Omega*, vol. 57, pp. 98–113, Dec. 2015, <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.07.010>.
- [6] G. F. Gori, P. Lattarulo, M. Mariani, and L. Razzolini, "The Expediting Effect of Monitoring on Infrastructural Works. A Regression-Discontinuity Approach with Multiple Assignment Variables," *Italian Economic Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 197–224, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s40797-023-00220-y>.
- [7] P. Berling and V. Martínez-De-Albéniz, "OPTIMAL EXPEDITING DECISIONS IN A CONTINUOUS-STAGE SERIAL SUPPLY CHAIN," 2011. Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://www.iese.edu/media/research/pdfs/DI-0906-E.pdf>
- [8] "Vista de MODELO PARA LA GESTIÓN DE PROVEEDORES UTILIZANDO AHP DIFUSO," Icesi.edu.co, 2025. http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/190/188 (accessed Jan. 29, 2025).
- [9] X. Shen, Y. Yu, and J.-S. Song, "Optimal Policies for a Multi-Echelon Inventory Problem with Service Time Target and Expediting," *Manufacturing & Service Operations Management*, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.1287/msom.2022.1079>.
- [10] J.-S. Song, L. Xiao, H. Zhang, and P. Zipkin, "Smart Policies for Multisource Inventory Systems and General Tandem Queues with Order Tracking and Expediting," *Operations Research*, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.1287/opre.2021.2124>.
- [11] CSCMP, "SCM Definitions and Glossary of Terms," [cscmp.org](https://cscmp.org/CSCMP/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx), 2024. https://cscmp.org/CSCMP/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx
- [12] H. Shaileshkumar Brahmabhatt, Key to Successful Expediting. Independently published, 2021. Available: <https://www.amazon.com/Key-Successful-Expediting-construction-manufacturing/dp/B0915N29GQ>
- [13] K. Alshaiba, "Integrating 3D Printing Technology into the MRO Supply Chain in the Aviation Industry," *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 12, no. 5, pp. 78–82, May 2023, doi: <https://doi.org/10.21275/sr23430182911>.
- [14] R. Castillo-Villagra, G. Icarte, and K.-D. Thoben, "Modelling the Make Process of the Mineral Supply Chain Upstream Segment," *Resources*, vol. 12, no. 11, p. 132, Nov. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/resources12110132>.
- [15] INEI, "Instituto Nacional de Estadística e Informática," [inei.gob.pe](https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-nacional-aumento-137-en-enero-de-2024-15074/), 2024. <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-nacional-aumento-137-en-enero-de-2024-15074/> (accessed Jan. 28, 2025).
- [16] S. AKSOY, "İLAÇ SEKTÖRÜNDE MÜŞTERİ DENEYİMİ YÖNETİMİ: BİR ROPÖRTAJ ÇALIŞMASI," *Beykent üniversitesi fen ve mühendislik bilimleri dergisi*, vol. 16, no. 2, pp. 11–19, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.20854/bujse.1211335>.
- [17] R., F. C. C., & B. L. P. (2014). Hernández Sampieri, "Metodología de la investigación (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.," pp. 1–354, 2014.
- [18] P. I., C. C. R. J., & M. P. I. A. (2023). Vizcaino Zúñiga, "Metodología de la investigación científica: guía práctica. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7(4), 9723-9762.," vol. 7, pp. 1–9762, 2023.
- [19] G. Morante, G. Rincón, and Pérez Narcisi., "MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA ESTIMAR CONCENTRACIÓN DE PM," vol. 35, pp. 1–16, Feb. 2019.
- [20] M. Rosas, F. Chacín, J. García, M. Ascanio, and M. Cobo, "Construction of linear regression models with quantitative and qualitative variables in order to inference about student accomplishment," *Revista de la Facultad de Agronomía versión impresa ISSN 0378-7818*, vol. 23, Jun. 2006.